ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ЭНЕРГОВЫДЕЛЕНИЯ ПРИ КОЛЛЕКТИВНОМ САМООРГАНИЗУЮЩЕМСЯ СИНТЕЗЕ В ДИОДЕ

В Лаборатории «Протон-21» (Украина) предложен и осуществлен новый класс ядерных процессов – коллективные когерентные ядерные реакции, не требующие для своего осуществления ни больших энергий драйверов, ни использования радиоактивных, расщепляющихся или иных специальных материалов.

Реакции инициируются импульсным электронным пучком, имеющим длительность от 15 нс до 150 нс, амплитуду тока от 50 кА до 250 кА, энергию электронов в пучке – от 200 кэВ до 750 кэВ. Эксперимент проводится по схеме Релятивистского Вакуумного Диода (РВД) рис.1, защищенной международными патентами (EP1464210, WO2004017685, US2016064104).

В результате ударного воздействия электронного пучка по поверхности твердотельной мишени-анода, изготавливаемой из произвольного материала (металлы, полимеры, композитные материалы специального состава) в теле мишени инициируется и эволюционирует нелинейная волна плотности вещества мишени (нелинейная акустическая волна), двигающаяся от поверхности к оптическому центру мишени. Движение самоорганизующейся и самоподдерживающейся волны сопровождается быстрым нарастанием ее плотности и параметра порядка в организации частиц вещества волны. Важно, что, в отличие от ударных волн, нелинейные волны не имеют фиксированного предела плотности их вещества, и ее значения могут достигать (и, предположительно, достигают в экспериментах «Протон-21») звездных величин (10^9 г·см$^{-3}$ - 10^{11}г·см$^{-3}$).

Вследствие достижения экстремальной плотности на фоне значительного роста параметра порядка частиц вещества, в теле волны происходят полная ионизация вещества мишени, подавление кулоновского барьера взаимодействия ядер и, как следствие, – самоподдерживающиеся ядерные реакции синтеза-расщепления, сопровождающиеся выделением части избыточной потенциальной энергии ядер – участников.

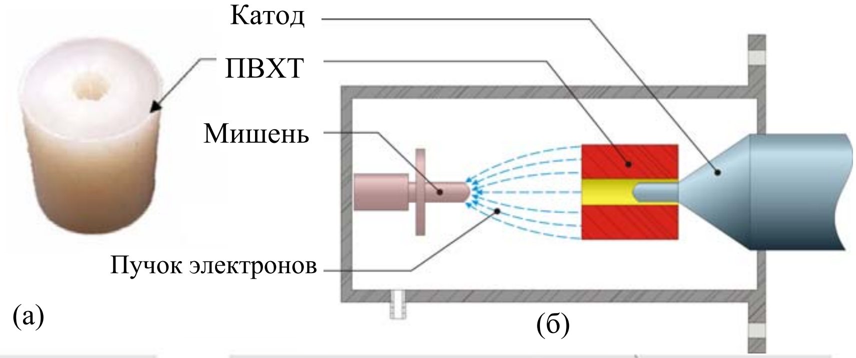
Величина выхода свободной энергии всего самоорганизующегося процесса в целом определяется – в конечном итоге – формой и амплитудой импульса тока электронного пучка, размером и, в известных пределах, элементным составом вещества мишени, который при переходе к промышленному использованию процесса должен быть оптимизирован.

Как видно из приведенного рисунка, в экспериментальном процессе используется деталь катодного узла в форме толстостенной трубки, изготовленной из диэлектрического материала. Если указанные выше параметры электронного пучка и мишени-анода соответствуют условиям получения более или менее существенного выхода свободной энергии, а толстостенная трубка изготовлена из материала, который под действием на него экстремальных ударных давлений на время порядка микросекунд переходит в сверхпластичное состояние без потери целостности детали, то вследствие сверхмощного удара плазмой взрыва по торцу трубки и поверхности ее осевого отверстия получаем следующий результат. Практически мгновенно происходит значительная и крайне специфическая деформация трубки, в конечной форме которой оказывается «записанным» значительный объем информации об энергии взрыва мишени и о времени взаимодействия его продуктов с деформирующейся трубкой.

К данной записке прилагаются два исходно идентичных образца поливинилхлоридных трубок, являющихся отрезками изоляции высоковольтного кабеля. Сильно искаженная форма одной из представленных трубок – подвергшейся воздействию взрыва мишени – получена вследствие ее выворачивания «наизнанку» (в результате чего исходно внутренние

слои трубки становятся наружными, а исходно наружные слои – внутренними), а также значительного растяжения в радиальном направлении.

Схема размещения трубки из поливинилхлорида (ПВХТ) в анодном узле установки (б) и фотография исходной ПВХТ (а)



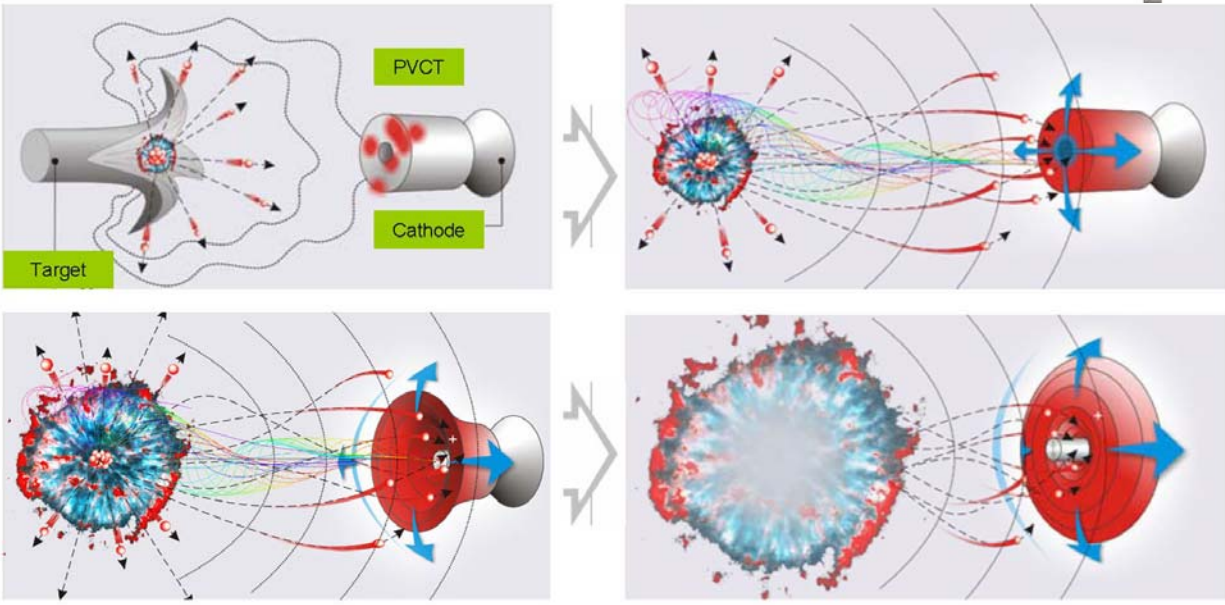


Рис. 1. Схематическое изображение конфигурации РВД и процесса воздействия взрыва мишени-анода на полихлорвиниловую трубку

Исключительной (не имеющей известных авторам аналогов) особенностью представленного образца является то обстоятельство, что наблюдаемое выворачивание толстостенной ПВХ трубки не сопровождается ее разрушением (фрагментацией). Это свидетельствует о том, что – в процессе выворачивания – частицы материала трубки, изменяющие свое положение относительно друг друга, двигались со скоростями, превышающими скорость звука в материале трубки. Таким образом, с учетом того, что масса деформирующейся трубки, как и масса взрывающейся мишени известны, нетрудно получить грубую нижнюю оценку полной энергии взрыва, часть продуктов которого совершили наблюдаемую работу по выворачиванию ПВХ трубки.

Указанная оценка дает величину порядка 10 кДж - 50 кДж.

Энергия, вкладываемая электронным пучком в мишень, определена прямыми тепловыми и электрическими on-line измерениями и характеризуется в рассматриваемом случае величиной 0,5 кДж - 1,0 кДж.

С учетом того, что полный телесный угол разлета продуктов взрыва приблизительно в 2,5 раза превышает телесный угол, приходящийся на трубку, подвергающуюся ударному действию этих продуктов, нижняя оценка полной энергии взрыва, частично отражающейся в форме и размерах вывернутой трубки, в каждом из штатных экспериментов, воспроизведенных в лаборатории «Протон-21» в период 2003 - 2016гг. более 2000 раз, находится в интервале 25 кДж - 125 кДж.

Таким образом, коэффициент положительного выхода энергии, устойчиво достигающийся

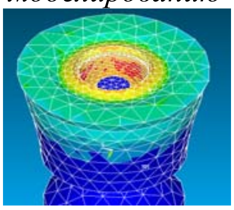
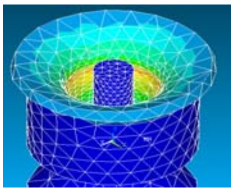
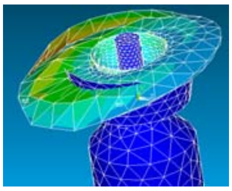
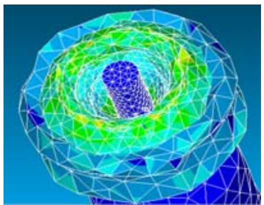
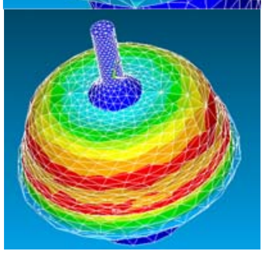
в экспериментах «Протон-21» на протяжении последних 13 лет, находится в интервале: $50 \le Q \le 125$.

Важно отметить, что практически всю энергию взрыва мишени переносит поток ее вещества массой всего около 100мг.

Для получения более точных оценок энергии и мощности взрыва мишеней было проведено численное компьютерное моделирование динамики деформации трубки под действием потока частиц. Была показана исключительно высокая чувствительность эволюции формы трубки к параметрам ударного действия на нее продуктов взрыва мишени с учётом упругопластических, механических, физических свойств трубки и геометрии процессов в Диоде.

Оказалось, что полученные в эксперименте результаты можно объяснить только ударом потока плазмы, состоящей из легкой и тяжелой компоненты, с очень короткой длительностью (порядка 2 мкс) и достаточно большой энергией. Результаты численного моделирования вместе с фотографиями трубки после действия потоков частиц, приведены в Таблице 1. В таблице приведены также и оценки энергии, доставленной в область катода (собственно – к трубке), необходимой для выполнения соответствующей работы по выворачиванию. Моделированием было также установлено, что описываемая деформация трубки происходит за время около 20 мкс. То есть, после 2-микросекундного импульса давления продуктов взрыва выворачивание следующие 18 мкс продолжается по инерции.

Таблица 1. Сопоставление экспериментальных и модельных конечных состояний полихлорвиниловой трубки

	Состояния трубки в эксперименте	*Состояния трубки по моделированию*	*Полная энергия, доставленная к трубке*
1			***10.7 кДж***
2			***16.4 кДж***
3			***18 кДж***
4			***32 кДж***
5			***54 кДж***

При моделировании учитывался экспериментально измеренный состав потока и его временные характеристики. Результаты моделирования разлета плазмы из области выделения энергии синтеза показывают, что энергия потока частиц в пересчете на полный телесный угол составляет величину не меньше 80 кДж.

По результатам измерения токов и электромагнитного импульса в различных областях РВД, доставляемая в мишень энергия, как указано выше, была оценена на уровне (0.5÷0.6) кДж.

Видно, что уточненная посредством компьютерного моделирования энергетическая эффективность самоорганизующегося синтеза в аноде РВД характеризуется средней величиной коэффициента положительного выхода $Q \approx 160$. Для целей промышленного применения процесса следует иметь в виду, что установка, обеспечивающая инициирование пучка электронов в РВД, будет иметь свой КПД, вероятно – не превышающий 50%.

Выделение энергии в центральной (фокальной) области мишени размером в десятки микрон на уровне 100÷130 кДж, приводящее в рассматриваемых случаях к фрагментации и распылению около 0,1 г вещества мишени, имеет температурный эквивалент около 10 кэВ. Из-за сферического расширения потока от начальной сферы диаметром менее 1 мм до диаметров порядка 1 см (достигаемых на интервале времени передачи энергии потока ПВХ трубке) характерное давление на трубку в 10 ГПа определяется и обеспечивается в 100 раз большим давлением в центре (фокальном объеме) мишени, достигающим, таким образом, величины порядка (около) одного терапаскаля.

Из приведенных оценок следует, что в экспериментах «Протон-21» состояние центральной области мишени по классификации В.Е.Фортова для фазовой диаграммы экстремальных состояний вещества как по давлению, так и по эквивалентной температуре соответствует физическим условиям, считающимся необходимыми и достаточными для осуществления инерциального ядерного синтеза (см. Рис. 2).

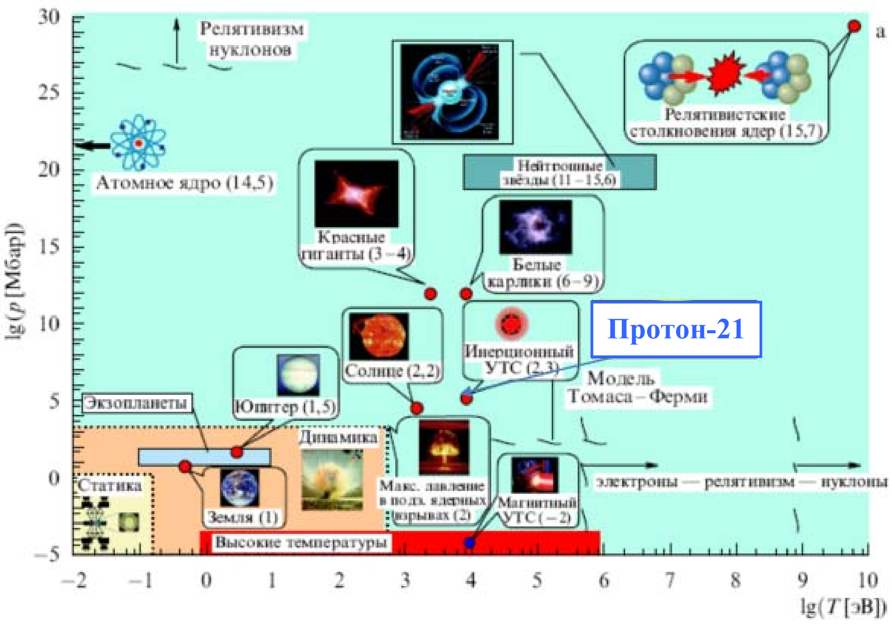


Рис. 2. Сравнение экстремальных параметров вещества в природе и в экспериментальных установках

Концепция коллективного ядерного синтеза и результаты ее осуществления в экспериментах Лаборатории «Протон-21» описаны в книге «*Controlled Nucleosynthesis. Breakthroughs in Experiment and Theory*», Series: Fundamental Theories of Physics, Adamenko, Stanislav et al. (Springer, 2007) и представлены на сайте http://proton-21.com.ua. В книге содержатся не только теоретические подробности концепции, но и описания установки и результатов (масс-спектрометрических, рентгенографических, электрофизических и т.п.) тысяч экспериментов по осуществлению ядерного синтеза в РВД. Дополнительную информацию можно почерпнуть из патентов «Протон-21», в частности: Europian patent "Method and device for compressing a substance by impact and plasma cathode therefor" EP 1 464 210 B1 Date of filing: 19.05.2003; Date of publ. of appl. 06.10.2004 Bull. 2004/41; Priority: 14.08.2002 WOPCT/UA02/86722.

С.В. Адаменко
Руководитель проекта
Лаборатория «Протон-21»